

Studi Eksperimen Pengaruh Variasi Temperatur dan Kecepatan Udara Pengering Terhadap Karakteristik Pengeringan Batubara Pada *Coal Dryer* Dengan *Tube Heater* Tersusun *Staggered*

Ferianto dan Djatmiko Ichsani

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: djatmiko@me.its.ac.id

Abstrak— Batubara bernilai kalor tinggi sangat efisien apabila dimanfaatkan sebagai bahan bakar. Di Indonesia, masih banyak batubara yang tergolong dalam batubara bernilai kalor rendah. Nilai kalor yang rendah disebabkan karena kandungan *moisture content* yang besar. Pengurangan *moisture content* batubara dari 37,5% menjadi 31,4% mampu meningkatkan efisiensi boiler hingga 2,6%, sehingga diperlukan suatu proses pengeringan untuk pengurangan *moisture content* pada batubara. Penelitian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan alat *coal dryer* dengan tube heater yang tersusun *staggered*. Pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi temperatur udara pengering, yakni sebesar 40°C, 50°C, dan 60°C serta kecepatan udara pengering, yakni sebesar 1,52 m/s; 1,71 m/s; dan 1,9 m/s. Hasil yang diperoleh dari eksperimen ini adalah penurunan *moisture content* batubara terbesar terjadi pada variasi kecepatan 1,9 m/s dan temperatur udara pengering 60°C, yaitu dari 19,433% menjadi 5,554%. *Drying rate* batubara terbesar terjadi pada variasi kecepatan 1,9 m/s dan temperatur udara pengering 60°C, yaitu sebesar 0,00017 kg/s. Sementara nilai efisiensi pengeringan terbesar terjadi pada variasi kecepatan 1,9 m/s dan temperatur udara pengering 40°C, yaitu sebesar 24,99%. Semakin besar kecepatan dan temperatur udara pengering semakin besar nilai *drying rate* dan perubahan *moisture content*. Namun pada pengeringan selama 35 menit, semakin besar temperatur udara pengering efisiensi pengeringan semakin turun.

Kata Kunci—*Coal Dryer, Susunan Staggered, Efisiensi, Moisture content, Drying rate*

I. PENDAHULUAN

INDONESIA merupakan Negara terbesar ketujuh produsen batubara. Potensi sumber daya batubara di Indonesia sangat melimpah mencapai puluhan milyar ton. Produksi batubara di Indonesia meningkat tiap tahunnya, pada tahun 2008, 2009, dan 2010 tercatat berurutan 178 juta ton, 228 juta ton, dan 325 juta ton [1] dan produksi batubara akan diprediksi terus meningkat tiap tahun kedepannya. Namun kualitas batubara di Indonesia pada umumnya didominasi oleh batubara peringkat rendah (*lignite*) yaitu sekitar 60-70% dari total cadangan batubara [2]. Batubara kualitas rendah belum banyak dieksploitasi karena masih mengalami kendala dalam transportasi dan pemanfaatan. Sementara batubara dengan kualitas sangat baik dialokasikan untuk ekspor karena dinilai lebih menguntungkan dari sisi

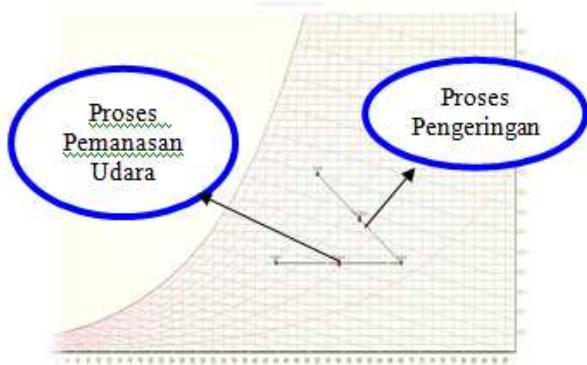
Tabel 1.
Perbandingan Jumlah Batubara Indonesia [3]

Kualitas		Cadangan	(juta ton)
			%
Low rank	< 5.100 kal	21.183,04	20,22
Middle rank	5.100 - 6.100	69.551	66,39
High rank	6.100 - 7.100	13.021,49	12,43
Highest rank	> 7.100	1.001,65	0,96
Total		104.756,83	100

Sumber: Dit. Pengusahaan Minerbapabum 2009

ekonomi. Batubara peringkat rendah mempunyai kandungan air total (*moisture content*) cukup tinggi sehingga nilai kalor menjadi rendah.

Penelitian mengenai pengaruh kandungan *moisture content* terhadap efisiensi boiler dan *makeup water flow rate* pada *cooling tower* [4] pernah dilakukan sebelumnya. Dari analisa teori dan hasil eksperimen didapatkan bahwa pengurangan *moisture content* batubara dari 40% menjadi 25% mampu mengurangi penambahan aliran air pada *cooling tower* sebesar 5-7%. Hal tersebut sebanding dengan pengurangan daya yang dibutuhkan untuk menggerakkan kipas sebesar 3,8%. Sedangkan pengurangan *moisture content* batubara dari 37,5% menjadi 31,4% mampu meningkatkan efisiensi boiler hingga 2,6%. Dari analisa juga didapatkan terjadinya pengurangan laju bahan bakar sebesar 10,8% dan laju aliran *flue gas* sebesar 4%. Pada beberapa penelitian lain menunjukkan bahwa dengan batubara yang mempunyai kandungan *moisture content* yang rendah maka emisi SO₂ dan CO₂ pada proses pembakaran batubara akan lebih rendah [5]. Batubara basah membutuhkan *excess air* sebesar 80%, sementara untuk batubara kering membutuhkan *excess air* yang jauh lebih sedikit, yaitu 30% [6]. Penggunaan *excess air* yang rendah berimbas dengan pengurangan *heat losses* pada *flue gas* dan peningkatan efisiensi boiler. Selain itu pada boiler yang mempunyai efisiensi tinggi maka *flue gas* akan semakin kecil. Boiler tanpa pengering maka akan menghasilkan *flue gas* dengan temperatur 176°C atau lebih tinggi, sedangkan untuk boiler dengan pengering menghasilkan *flue gas* dengan temperatur 140°C. Oleh karena itu diperlukan teknologi khusus untuk mengurangi *moisture content* pada batubara.



Gambar 1. Proses-proses di dalam diagram Psikrometrik [7]

A. Proses Pengeringan

Pengeringan merupakan proses pemindahan substansi yang mudah menguap (kandungan air) dari padatan. Tujuan umum dari pengeringan adalah mengurangi kadar air pada batubara agar batubara dapat digunakan dengan lebih efektif. Proses yang dilakukan adalah dengan cara menaikkan tekanan parsial uap air pada batubara dengan memberikan panas dan menaikkan kelembaban relatif udara pengering.

Kemampuan udara membawa uap air bertambah besar apabila perbedaan tekanan parsial uap air pada udara pengering dengan batubara semakin besar. Pengeringan merupakan proses yang kompleks dari perpindahan panas dan massa yang tergantung pada parameter eksternal seperti: temperatur, kelembaban udara, kecepatan aliran udara, karakteristik permukaan batubara, komposisi kimia dari batubara, dan sebagainya.

Pada proses pengeringan, terjadi perpindahan massa uap air dari batubara ke udara pengering, yang terbagi menjadi dua tahap, yaitu perpindahan massa uap air dari dalam ke permukaan batubara dan perpindahan massa uap air dari permukaan batubara ke udara pengering. Gerakan perpindahan uap air dari dalam ke permukaan bahan terjadi karena adanya perbedaan konsentrasi. Konsentrasi air pada bagian dalam material lebih besar dari pada konsentrasi air pada permukaan material. Dengan menganggap suatu lapisan tipis, gerakan uap air dari material ke permukaan dapat ditentukan dengan persamaan Fick untuk difusi satu dimensi. Perpindahan uap air dari permukaan bahan ke udara pengering dalam proses pengeringan berlangsung secara konveksi.

B. Prinsip Psikometrik Chart

Proses pengeringan dapat digambarkan lewat *psychrometric chart*. Pada *psychrometric chart* dapat dilihat kondisi udara selama proses pengeringan terjadi. Pengeringan diawali dengan naiknya temperatur dari udara akibat udara pemanas yang disuplai dalam ruang pengeringan. Proses naiknya temperatur udara dapat dilihat dengan bergesernya titik awal udara ke arah kanan yang ditandai dengan naiknya temperatur *dry bulb* udara. Proses selanjutnya adalah perpindahan massa dengan diuapkannya kandungan air (*water*) dalam produk pengering. Proses penguapan ditandai dengan naiknya titik kondisi udara pemanas pada *psychrometric chart* ke arah kiri atas. Hal ini sebagai akibat dari naiknya kandungan air dalam udara

setelah terjadi proses penguapan air (*water*) dari produk ke udara.

C. Moisture content

Moisture content basis kering didefinisikan sebagai massa air dalam produk dibagi massa produk kering.

$$MC(\%)w.b. = \frac{(m_p(t) - m_{p,kering})}{m_{p,kering}} \times 100\%$$

di mana

- $MCw.b$ = kadar air suatu bahan basis basah (%).
- $m_p(t)$ = kandungan air bahan fungsi waktu (kg)
- $m_{p,kering}$ = massa bahan awal dalam keadaan basah (kg).

D. Kelembaban Relatif

Kelembaban relatif adalah perbandingan antara fraksi molekul uap air (tekanan uap air) di dalam udara basah terhadap fraksi molekul uap air jenuh (tekanan jenuh uap air) pada temperatur dry bulb dan tekanan yang sama. Dari hubungan untuk gas ideal, kelembaban relatif dapat dinyatakan dengan θ , yaitu:

$$\theta = \frac{P_{uap}}{P_s}$$

dimana : P_{uap} = tekanan uap air

P_s = tekanan jenuh uap air pada temperatur yang sama

E. Rasio Kelembaban

Rasio kelembaban (W_{ud}) adalah berat atau massa air yang terkandung dalam setiap kilogram udara kering. Rasio kelembaban udara ditentukan berdasarkan 1 kg udara kering, seperti beberapa sifat yang akan dipelajari.

$$W_{ud} = \frac{m_{uap\ air}}{m_{ud}}$$

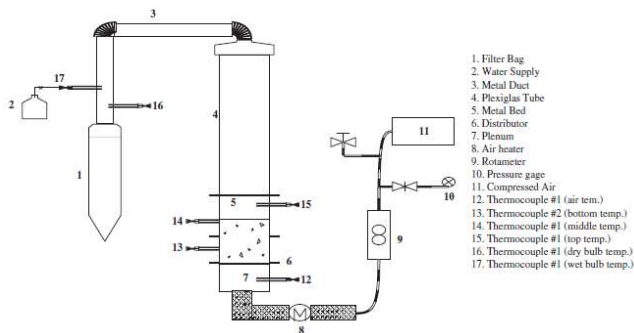
dimana : W_{ud} = Rasio kelembaban udara (kg/kg)

$m_{uap\ air}$ = massa uap air yang terkandung (kg uap air)

m_{ud} = massa udara kering (kg udara kering)

Pada diagram Psikrometrik, dikenal 8 proses yang dialami oleh udara, yaitu:

- Proses pemanasan (Heating).
- Proses pendinginan (Cooling).
- Proses pelembaban (Humidifying).
- Proses penurunan kelembaban (Dehumidifying).
- Proses pemanasan dan pelembaban (Heating and humidifying).
- Proses pemanasan dan penurunan kelembaban (Heating and dehumidifying).
- Proses pendinginan dan pelembaban (Cooling and humidifying).
- Proses pendinginan dan penurunan kelembaban (Cooling and dehumidifying).



Gambar 2. Skema Alat Ekperimental Penelitian [8]

Penelitian terkait dengan teknologi pengeringan batubara pernah dilakukan oleh Wei-Cheng Wang (2012) [8]. Dalam penelitiannya atas naungan *Laboratory Investigation of Drying Process of Illinois Coals* menggunakan 3 tipe jenis batubara, yaitu *buckheart*, *crown mine*, dan *viper mine* dengan nilai *moisture content* berturut-turut 23%, 18%, dan 20%. *Bed* yang digunakan mempunyai tinggi *metal bed* 0,38 m dan diameter *bed* 0,15 m

Proses pengeringan dilakukan dengan menggunakan kecepatan udara pengering 1,25 m/s dan temperatur udara pengering 43°C - 60°C. Setiap 5 menit proses pengeringan dilakukan pengambilan data temperatur pada tiap-tiap *thermocouple* dan sebuah sampel batubara. Dari beberapa yang diambil didapatkan beberapa grafik.

Berdasarkan beberapa penelitian dan fenomena aktual diatas, penelitian mengenai karakteristik teknologi *coal dryer* diperlukan sebagai upaya strategis pengembangan teknologi dalam peningkatan kualitas batubara untuk menghadapi tantangan krisis energi dunia.

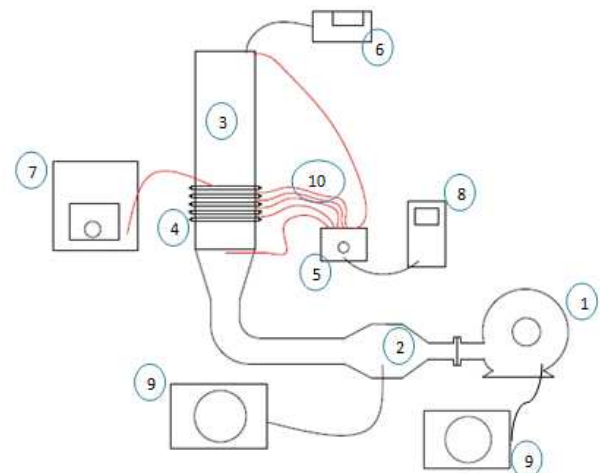
II. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan alat eksperimen *coal dryer* dengan penambahan *tube heater* yang tersusun *staggered*. Fluida yang digunakan sebagai pengering adalah udara bebas yang dipanasi menggunakan *heater* yang dijaga konstan temperatur dan kecepatannya. Penelitian dilakukan menggunakan beberapa variasi temperatur dan kecepatan.

Penelitian dilakukan dengan beberapa tahapan:

1) Tahap Persiapan

Tahapan ini merupakan tahapan awal sebelum dilakukannya percobaan. Pada tahap ini yang perlu dilakukan adalah menyiapkan batubara yang digunakan sebagai objek pengeringan. Batubara yang didapatkan masih berukuran relatif besar, sehingga dibutuhkan proses *resizing* untuk mendapatkan batubara dengan ukuran-ukuran tertentu. Batubara yang masih besar dikecilkan dengan palu yang kemudian dilakukan proses pemisahan dengan menggunakan ayakan. Batubara yang berhasil dipisahkan mempunyai ukuran 3-6 mm. Batubara yang telah dipisahkan akan disiapkan sebagai objek pengeringan sebanyak 3 kg untuk setiap variasi kecepatan dan temperatur udara pengering. Kemudian dilanjutkan dengan menyiapkan dan melakukan pengecekan secara menyeluruh pada setiap bagian instalasi, seperti *tube heater*, *air heater*, *blower*, *thermocouple*, *hygrometer* dan *voltage regulator*.



Keterangan:

- | | |
|-------------------------|------------------------|
| 1. Blower | 6. Hygrometer |
| 2. Air Heater | 7. Thermocontrol |
| 3. Chamber | 8. Digital Thermometer |
| 4. Tube Heater | 9. Voltage Regulator |
| 5. Thermometer Selector | 10. Thermocouple |

Gambar 3. Skema Percobaan



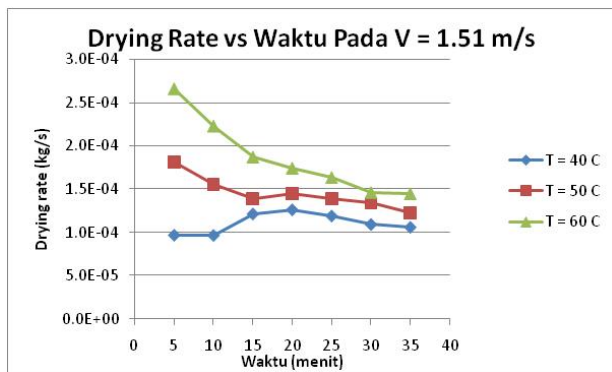
Gambar 3. Peralatan Pengeringan Batubara (Coal Dryer)

2) Tahap Pengambilan Data

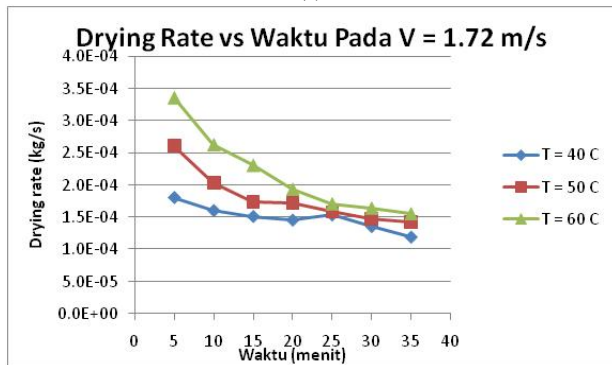
Batubara yang telah disiapkan dimasukkan kedalam chamber yang sebelumnya telah dipanasi terlebih dahulu. Kecepatan dan temperatur udara pengering diatur dengan *voltage regulator* pada set point 80% (1,51 m/s) dan 40°C. Proses pengeringan dilakukan selama 35 menit dan dilakukan pengambilan sampel dan data pada setiap 5 menit. Setiap 5 menit proses pengeringan diambil data-data temperatur dan *relative humidity* pada alat ukur yang terpasang kemudian dilanjutkan dengan mematikan seluruh instalasi dan mengambil 3 sampel batubara. Instalasi kembali dinyalakan dan dilakukan proses yang sama untuk tiap 5 menit sampai pada menit ke-35. Kemudian berulang dilanjutkan pada variasi temperatur udara pengering 50°C dan 60°C.

3) Tahap Pengukuran Massa Batubara

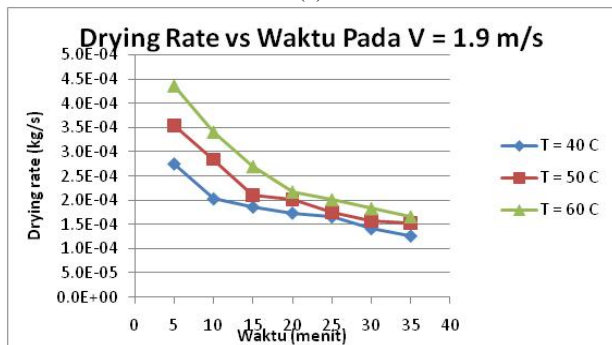
Melakukan penimbangan setiap sampel batubara dengan timbangan digital yang berada di laboratorium metalurgi. Timbangan digital yang digunakan mempunyai kemampuan penimbangan maksimal 200 gr dengan ketelitian 0,0001 gr. Pada proses penimbangan tersebut didapatkan massa batubara setelah dikeringkan (m_s) pada waktu pengeringan



(a)



(b)



(c)

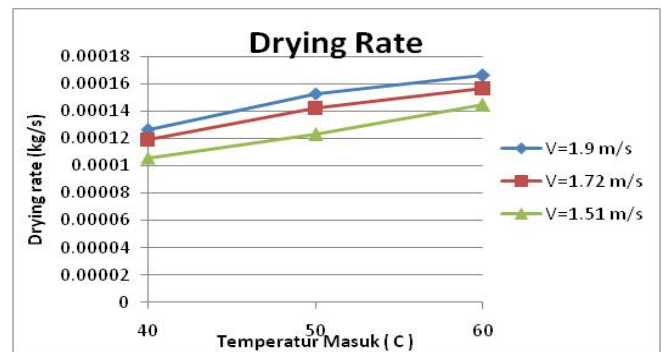
Gambar 4. Grafik *drying rate* batubara (a) pada V = 1,51 m/s, (b) pada V = 1,72 m/s, dan (c) pada V = 1,9 m/s

tertentu. Sampel yang telah ditimbang dimasukkan ke dalam oven untuk menghilangkan semua kandungan air yang tersisa pada sampel batubara. Pada proses ini dijaga temperatur oven 110°C selama ± 6 jam. Kemudian dilanjutkan menimbang sampel batubara kembali setelah di oven untuk mendapatkan massa kering sampel batubara.

III. ANALISA DAN PEMBAHASAN

Data-data yang telah didapatkan selanjutnya diolah untuk mendapatkan *drying rate*, *moisture content*, efisiensi pengeringan, dan fenomena pengeringan pada *psychrometric chart*. Lalu digambarkan beberapa grafik pada setiap variasi temperatur dan kecepatan udara pengering.

Gambar 4 merupakan grafik *drying rate* terhadap waktu pengeringan pada setiap variasi temperatur dan kecepatan udara pengering. Pada ketiga grafik tersebut mempunyai trend yang sama, yaitu terjadinya penurunan *drying rate* seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Pada variasi temperatur udara pengering 60°C untuk ketiga grafik tersebut mempunyai nilai *drying rate* yang paling besar, kemudian diikuti pada variasi temperatur udara masuk 50°C

Gambar 5. Grafik *drying rate* terhadap perubahan temperatur udara pengering

dan 40°C. Fenomena tersebut sesuai dengan perumusan berikut:

$$n_A'' = h_m \times (\rho_{H_2O, coal} - \rho_{H_2O, inlet})$$

Semakin besar temperatur udara pengering maka massa jenis udara pengering akan semakin kecil, sehingga selisih antara massa jenis batubara dan udara pengering akan semakin besar dan *drying rate* akan meningkat.

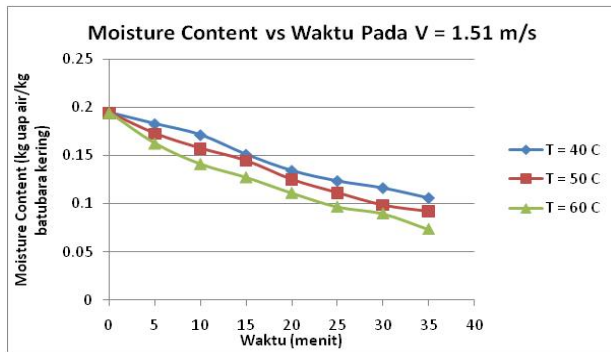
Pada pengeringan di menit ke-35 didapatkan grafik seperti pada gambar 5. Pada gambar terdapat 3 grafik untuk setiap variasi kecepatan udara pengering. Semakin besar kecepatan udara pengering, semakin besar *drying rate* yang dihasilkan. Kecepatan udara pengering yang besar akan mengakibatkan koefisien perpindahan panas yang besar.

$$h_m = \frac{hxLe^n x Da}{k}$$

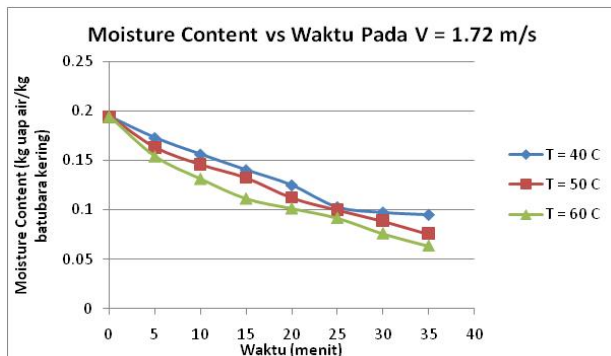
Sesuai dengan rumus diatas bahwa koefisien perpindahan panas (h) berbanding lurus dengan koefisien perpindahan massa (h_m), maka *drying rate* akan semakin besar apabila koefisien perpindahan massa semakin besar pula.

Gambar 6 merupakan grafik *moisture content* terhadap waktu pengeringan pada setiap variasi temperatur dan kecepatan udara pengering. Pada ketiga grafik tersebut mempunyai trend yang sama, yaitu terjadinya penurunan *moisture content* seiring dengan bertambahnya waktu pengeringan. Pada variasi temperatur udara pengering 60°C untuk ketiga grafik tersebut mempunyai nilai penurunan *moisture content* yang paling besar, kemudian diikuti pada variasi temperatur udara masuk 50°C dan 40°C.

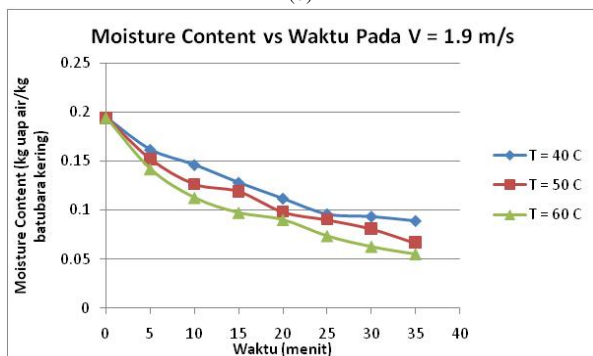
Kecepatan udara pengering mempengaruhi perubahan *moisture content* batubara. Pada gambar 7 terlihat penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan udara pengering 1,9 m/s. Semakin besar kecepatan udara pengering maka semakin besar koefisien perpindahan massa, yang mengakibatkan massa air dari batubara yang dibawa oleh udara akan semakin besar. Proses pengeringan akan berhenti apabila kondisi temperatur dan kandungan air pada batubara sama dengan kondisi temperatur dan kandungan air pada udara pengering. Gambar 8 merupakan grafik *moisture content* terhadap waktu pengeringan pada setiap variasi temperatur dan kecepatan udara pengering. Pada ketiga variasi kecepatan udara pengering mempunyai trend grafik yang relatif sama yaitu memperlihatkan terjadinya penurunan efisiensi pengeringan batubara terhadap waktu pengeringan.



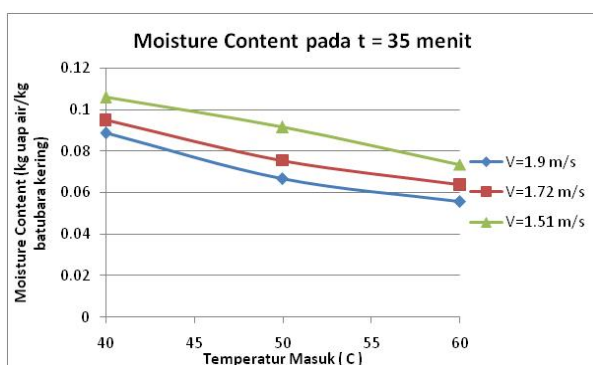
(a)



(b)

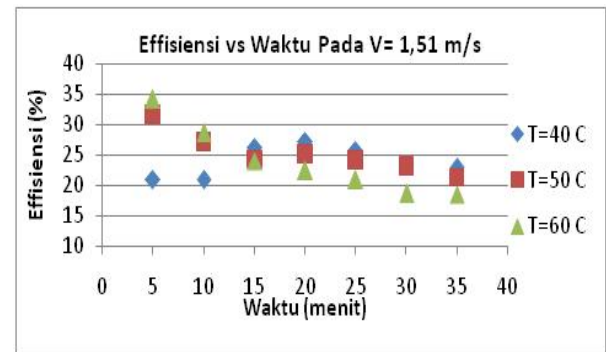


(c)

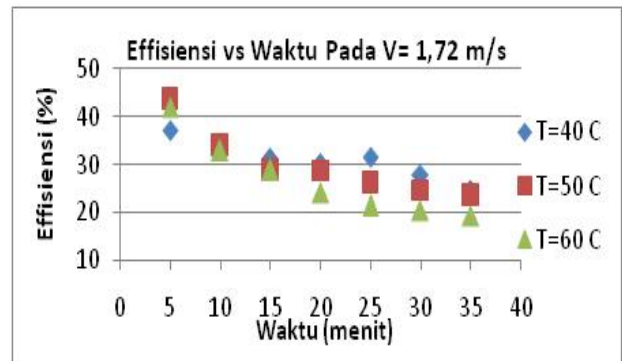
Gambar 6. Grafik *moisture content* Bbatubara (a) pada V = 1,51 m/s, (b) pada V = 1,72 m/s, dan (c) pada V = 1,9 m/sGambar 7. Grafik *moisture content* terhadap perubahan temperatur udara pengering

Pada variasi kecepatan udara masuk 1,9 m/s mempunyai nilai efisiensi yang paling besar.

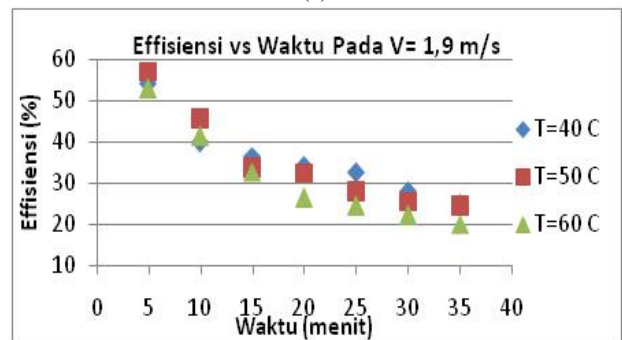
Effisiensi pengeringan tergantung akan 2 hal, yaitu laju kandungan air yang hilang dari batubara / *drying rate* ($\dot{m}_{uap\ air}$) dan besar daya total yang dibutuhkan pada proses pengeringan (W_{total}).



(a)

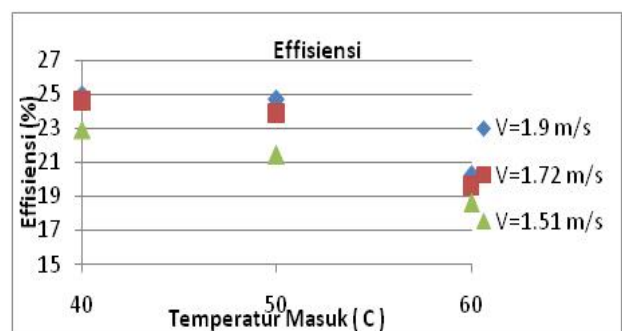


(b)



(c)

Gambar 8. Grafik efisiensi pengeringan (a) pada V = 1,51 m/s, (b) pada V = 1,72 m/s, dan (c) pada V = 1,9 m/s



Gambar 9 Effisiensi pengeringan pada setiap variasi temperatur masuk

Pada proses pengeringan yang dilakukan dibutuhkan daya yang sama pada setiap waktu pengeringan. Sementara laju kandungan air yang hilang dari batubara mengalami penurunan, seperti terlihat pada grafik 4.1. Maka sesuai dengan rumus:

$$\dot{\eta} = \frac{\dot{m}_{uap\ air} x h_{fg}}{W_{total}}$$

Effisiensi pengeringan akan menurun dengan penurunan nilai $\dot{m}_{\text{uap air}}$.

Jika ditinjau dari gambar 4 dan 6, nilai *drying rate* dan penurunan *moisture content* batubara terbesar terjadi pada variasi temperatur udara pengering 60°C, namun pada gambar 8 terlihat efisiensi tertinggi terjadi pada temperatur udara pengering 40°C. Pada pengeringan selama 35 menit, semakin besar temperatur udara pengering semakin kecil efisiensi pengeringannya. Pada pengeringan objek basah, olakan yang diakibatkan kecepatan udara pengering lebih berpengaruh terhadap proses pengeringan jika dibandingkan dengan panas yang diberikan oleh udara pengering.

IV. KESIMPULAN/RINGKASAN

Penambahan kecepatan dan temperatur udara pengering meningkatkan nilai *drying rate* dan penurunan *moisture content* batubara. Hal tersebut terlihat dari hasil eksperimen bahwasannya *drying rate* dan penurunan *moisture content* terbesar terjadi pada variasi kecepatan udara pengering 1,9 m/s dan temperatur udara pengering 60°C. Namun pada pengeringan selama 35 menit, semakin besar temperatur udara pengering semakin kecil efisiensi pengeringannya. Hal tersebut dapat dilihat dari hasil eksperimen bahwa efisiensi tertinggi terjadi pada variasi kecepatan udara masuk 1,9 m/s dan kecepatan udara masuk 40°C. *Drying rate*, *moisture content*, dan efisiensi pengeringan batubara mengalami penurunan seiring berjalannya waktu pengeringan. Proses pengeringan tidak hanya tergantung pada kondisi udara pengering, namun juga tergantung dengan ukuran dan bentuk objek yang dikeringkan/batubara. Sehingga untuk penelitian berikutnya diharapkan bisa memvariasikan bentuk dan ukuran batubara. Selain itu pengambilan data pada saat eksperimen lebih bagus apabila dilakukan pengambilan data secara berulang-ulang. agar mendapatkan hasil yang lebih akurat. Ditambah perlunya modifikasi pada beberapa bagian alat eksperimen, seperti pada *air heater*, kontrol *tube heater*, dan hygrometer.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis Ferianto mengucapkan terima kasih Bapak Prof.Dr.Ir. Djatmiko Ichsan, M.Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir, yang telah memberi bimbingan dan dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik. 2010. Jakarta. Indonesia.
- [2] Puslitbang Teknologi Mineral dan Batubara. 2011. Jakarta. Indonesia.
- [3] Dit Pengusahaan Minerbapabum. 2009. Jakarta. Indonesia.
- [4] Edward K, Levy. *Use Of Coal Drying To Reduce Water Consumed In Pulverized Coal Power Plants Final Report*. 2011. Energy Research Center Lehigh University. Betlehem.
- [5] C. Bullinger and Edward K, Levy. *Coal Drying Improves Performance and Reduce Emissions*. 2002. The 27th International Technical Conference on Coal Utilization and Fuel System. Clearwater. Florida.
- [6] W.A. Amos. *Report on Biomass Drying Technology*. 1998. NREL Task No. GT818510.

- [7] Stoecker, Wilbert F and Jones, Jerold W. *Refrigerasi dan Pengkondisian Udara. Edisi Kedua. Diterjemahkan oleh Supratman Hara*. 1982. Erlangga. Jakarta.
- [8] Wang, Wei Chang. *Laboratory Investigation of Drying Process Illinois Coals*. 2012. North Carolina State University. Raleigh.